

BALLON EXPERIMENTAL

Lancement effectué le jeudi 1 avril 2004

« PIT BULLE »

la nacelle en forme de bulle

Groupe A22 :

François-Xavier APRETNA

Bruno BERTHOMMÉ

Catherine CHANAL

Valérie JOURDAN

Rémy LAMUSCATELLA

Pierric PUPIER

Caroline SOULIER

Babak TAFAZZOLI

Jonathan TÉADI



Introduction

Notre projet consiste à réaliser des expériences de notre choix à embarquer sur un ballon sonde.

Nous avons choisi un objectif principal : connaître l'efficacité de capteurs que nous aurions nous-mêmes fabriqués. Pour cela, nous comparerons les résultats des capteurs créés avec ceux des capteurs électroniques du commerce.

De plus, nous avons inventé deux expériences originales : résistance d'une canette à la pression et mesure de la rotation du ballon.

Le projet est réalisé avec l'aide du CNES par l'intermédiaire de Planète Sciences.

PLAN

1. Définition du projet	
1.1. présentation du ballon expérimental	p.3
1.2. cahier des charges	p.4
2. Organisation de l'équipe	p.5
3. Travaux effectués	
3.1. expériences embarquées	p.6
3.2. la nacelle	p.6
3.3. résistance d'une canette à la pression	p.7
3.4. capteurs de pression	p.9
3.5. capteur d'humidité	p.11
3.6. température et luminosité	p.13
3.7. mesure de la vitesse de rotation de la nacelle	p.14
3.8. les circuits électroniques	p.16
3.9. fabrication des cartes électroniques	p.17
3.10. soudage et câblage	p.18
3.11. site internet	p.19
4. Bilan du PIT	
4.1. les délais réels	p.20
4.2. les coûts	p.21
4.3. le poids de la nacelle	p.22
4.4. le jour du lâcher	p.22

Annexes

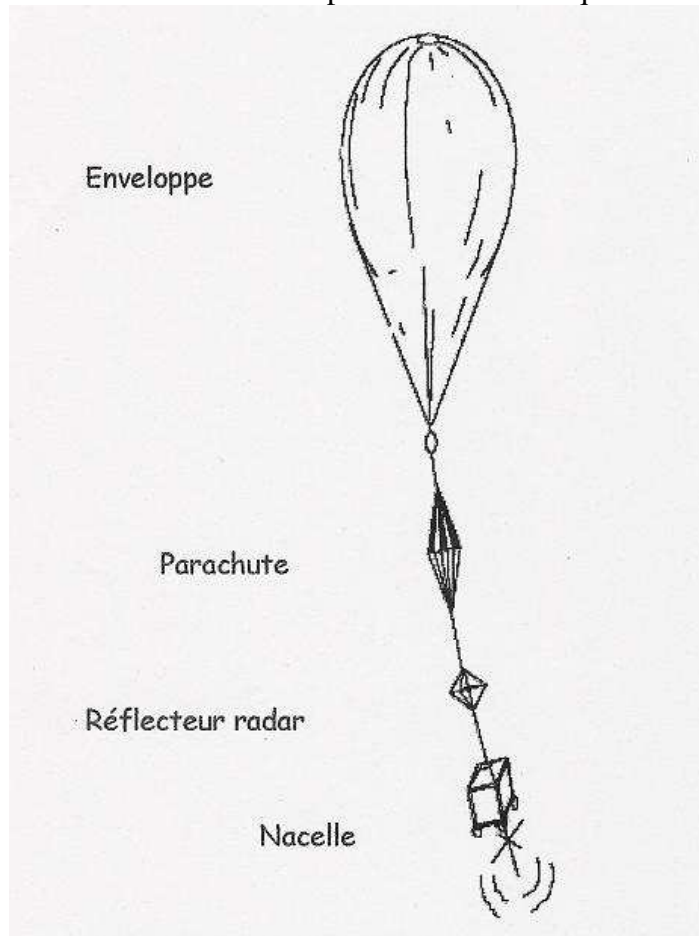
1. Définition du projet

1.1 Présentation du ballon expérimental :

L'objectif est de lancer un ballon à une altitude moyenne de 25km où il explose et redescend grâce à un parachute. La durée du vol est d'environ trois heures.

Nous devons réaliser la nacelle accrochée sous le ballon. La nacelle doit embarquer jusqu'à huit expériences scientifiques.

Le ballon expérimental est constitué de plusieurs éléments qui forment la chaîne de vol :



Planète Sciences fournit l'enveloppe, le parachute, le réflecteur radar ainsi qu'un émetteur (à placer dans la nacelle) et un récepteur.

Enveloppe : matériau très élastique, latex ou chloroprène de quelques microns d'épaisseur, gonflée à l'hélium.

Parachute : s'ouvre après éclatement du ballon pour freiner la descente de la nacelle.

Réflecteur radar : permet aux avions et aux contrôleurs aériens de « voir » le ballon et de ne pas le percuter.

Nacelle : contient les expériences scientifiques et embarque un système de télémesure qui transmettra au sol les résultats des mesures effectuées en quasi temps réel (toutes les deux secondes).

Émetteur et Récepteur : Pour relever les mesures, nous utilisons un système de télémesure, le KIWI Millénium, fourni par Planète Sciences.

Il était aussi possible d'embarquer des expériences où la récupération de la nacelle était nécessaire (appareil photos par exemple). Mais nous nous sommes restreints au système de transmission à distance car les chances de récupérer la nacelle sont très faibles. En effet, à Aix-en-provence, les vents soufflent souvent vers la mer et la nacelle est perdue.

1.2 Cahier des charges :

La nacelle est soumise à un cahier des charges établi par Planète Sciences. Il faut en prendre connaissance et respecter toutes les conditions pour que la nacelle soit certifiée conforme et puisse être envoyée.

Principaux points du cahier des charges :

- poids total (nacelle remplie) inférieur à 2,5 kg
- aucune saillie ou pointe sur la nacelle
- aucune tension supérieure à 24V
- les piles doivent avoir une autonomie de 3h minimum
- les mesures doivent être correctement étalonnées

Un « suiveur » de Planète Sciences, M. Vincent LAROCHE, s'occupe de notre ballon. Il doit venir trois fois au cours du projet pour répondre à nos questions, suivre l'avancement du projet et vérifier que nous suivons bien le cahier des charges.

Nous avons aussi à tenir compte du budget alloué par l'ENSAM :

Budget de 150 €

2. Organisation de l'équipe

Nous avons compris qu'une organisation de l'équipe était vitale pour l'aboutissement du projet. En effet, nous avons perdu du temps au début du PIT parce que nous étions désorganisés et nous avons constaté qu'il est impossible de progresser sans un but à court terme.

Ainsi, une fois l'équipe organisée par activité, nous avons établi un planning à suivre. Ce planning prévisionnel permet de travailler avec un objectif clair à atteindre dans un délai précis.

Planning prévisionnel :

22 septembre 2003 : idées d'expériences
6 octobre 2003 : choix des expériences à embarquer et recherches de solutions de réalisation
20 octobre 2003 : joindre le suiveur et débiter les schémas électriques
10 novembre 2003 : rencontre suiveur et finir les schémas électriques
24 novembre 2003 : construction nacelle et fabrication capteurs
8 décembre 2003 : étalonnage, tests et mise en place des derniers capteurs
5 janvier 2004 : assemblage et tests finaux

Répartition des tâches :

Chef de projet : Bruno Berthommé

Site web : Caroline Soulier
Babak Tafazzoli
Jonathan Téadi

Fabrication nacelle : François-Xavier Apretna
Jonathan Téadi

Électronique : Bruno Berthommé
Babak Tafazzoli

Capteurs de pression : Pierric Pupier
Rémy Lamuscatella

Capteurs d'humidité : Catherine Chanal
Valérie Jourdan

Résistance d'une canette : François-Xavier Apretna

Température et Luminosité : Babak Tafazzoli

Mesure de rotation : Bruno Berthommé

3. Description des travaux effectués

3.1 Expériences embarqués :

Nous devons réaliser huit mesures lors du vol du ballon. L'émetteur peut effectivement transmettre huit données au maximum. Nous avons choisi de mesurer :

- la pression dans une canette fermée
- la pression atmosphérique grâce à un montage avec une seringue
- la pression atmosphérique grâce à un capteur électronique (à comparer avec notre montage)
- le taux d'humidité grâce à un hygromètre à cheveux
- le taux d'humidité grâce à un capteur électronique (à comparer avec notre montage)
- la température extérieure
- la luminosité extérieure
- la rotation de la nacelle sur elle-même

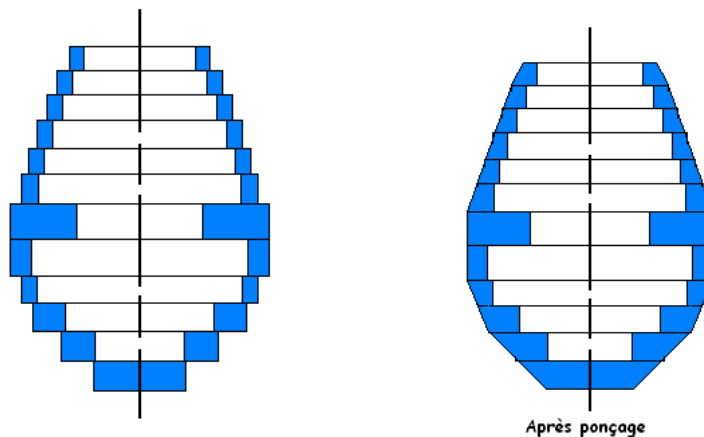
3.2 La nacelle :

[poids = 450g / hauteur = 50cm / Ø30cm]

Détermination des matériaux de la nacelle et de sa forme

- o les contraintes de basse pression et l'obligation de limiter le poids imposent l'emploi de polystyrène extrudé.
- o la forme aérodynamique choisie est la goutte d'eau.

On choisit de coller un empilement des plaques au préalablement découpées en forme d'anneaux. Les dimensions sont définies grâce à un schéma à l'échelle 1 . On a alors une nacelle en escaliers, il faut ensuite poncer les bords pour obtenir une forme extérieure aérodynamique.



L'épaisseur minimale des parois est de 2,5 cm. Un bouchon vient fermer l'ouverture de la nacelle.

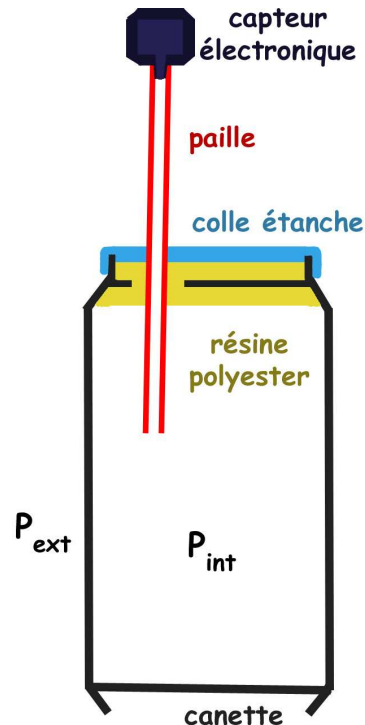
Le choix d'un polystyrène extrudé très léger et une forme circulaire représente un gain de poids énorme : la nacelle pèse 450g alors qu'elle pèserait environ 1 kg avec un polystyrène extrudé normal et une forme cubique.

Pour attacher la nacelle on a choisi un lacet avec trois points d'attache à 120° ancrés dans le corps de la nacelle et pas sur le bouchon.

3.3 Résistance d'une canette à la pression

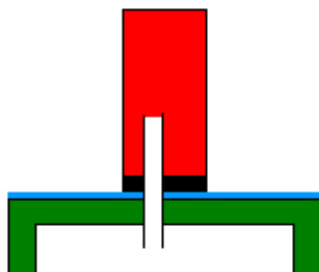
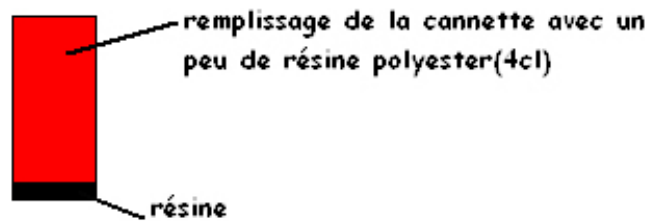
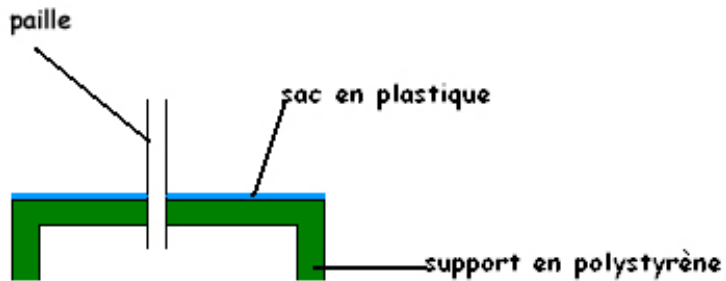
Objectif de l'expérience : savoir jusqu'à quelle pression la canette va résister.

Principe : la canette est soumise à une pression égale à 1010 hPa à l'intérieur (pression du sol lors de la fermeture étanche) et à la pression atmosphérique à l'extérieur (qui descend à environ 10 hPa à 25 km du sol). Donc en mesurant la pression à l'intérieur de la canette il est facile de déduire que la canette cède dès que la pression intérieure est différente de 1010 hPa.



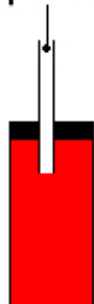
Fabrication de la canette étanche :

Nous vidons une canette de son contenu. Il faut ensuite refermer l'ouverture et vérifier l'étanchéité. On a choisi de l'étanchéifier avec de la résine de polyester et de la colle thermodurcissable.



on retourne la canette sur le support protégé par le sac plastique pour ne pas qu'en polymérisant le résine accroche avec le polystyrène

capteur de pression



Nous plaçons le capteur de pression au bout d'un tuyau qui est fixé dans la canette.

Les mesures donneront les valeurs de pression intérieure :

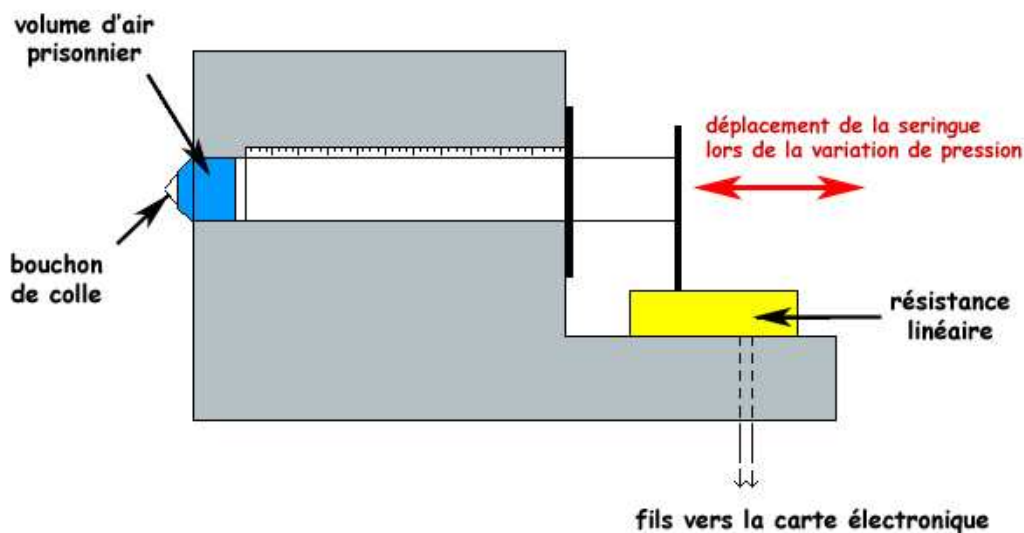
- Si la pression mesurée vaut toujours 1010 hPa alors la canette résiste à la différence de pression.
- Si la pression mesurée varie (et diminue) alors la canette s'est mise à la pression ambiante, elle se déforme et change de volume ou elle s'est cassée (ou encore notre système d'étanchéification s'est cassé)

3.4 Capteurs de pression

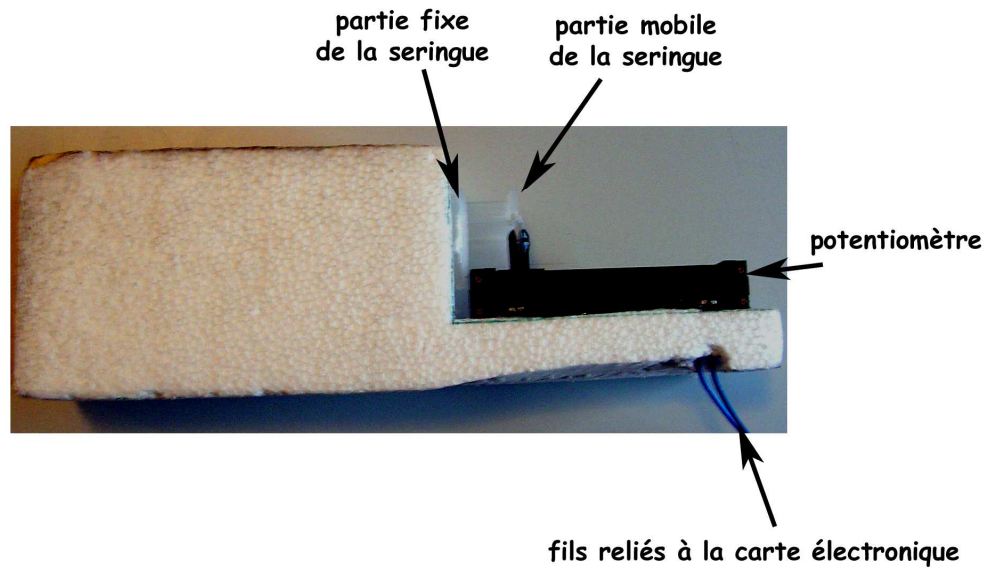
Objectif de l'expérience : comparer la pression mesurée par un montage fabriqué avec la pression mesurée par un capteur électronique.

Nous avons donc deux capteurs pour mesurer la pression : un capteur expérimental avec une seringue et un capteur électronique.

Capteur expérimental



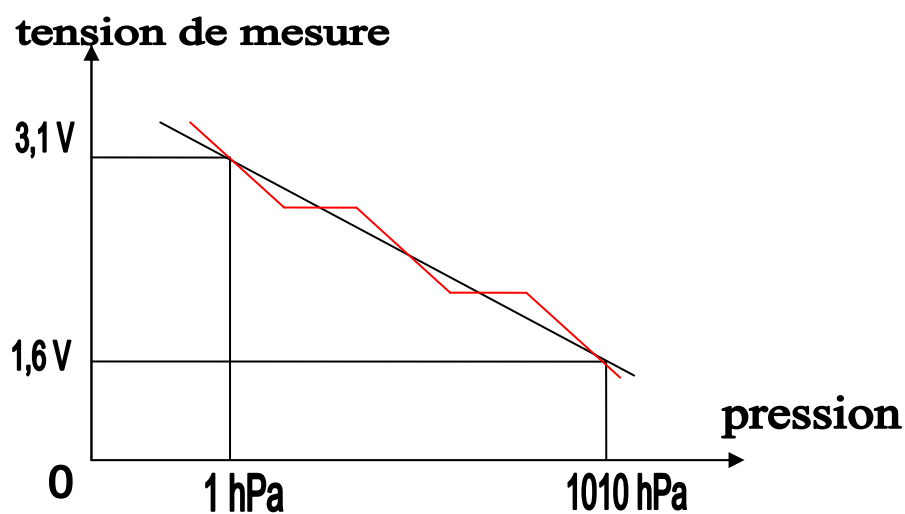
Principe : Avec la montée en altitude, la pression va diminuer. L'air prisonnier dans la seringue va alors se dilater et faire sortir le piston. Ce dernier va alors faire varier la résistance linéaire et, après étalonnage, on va pouvoir détecter la variation de pression et donc aussi d'altitude.



- Matériel utilisé :
- une seringue
 - du polystyrène (renforcé par deux tiges de fer à l'intérieur)
 - une résistance linéaire
 - colle thermodurcissable

Étalonnage :

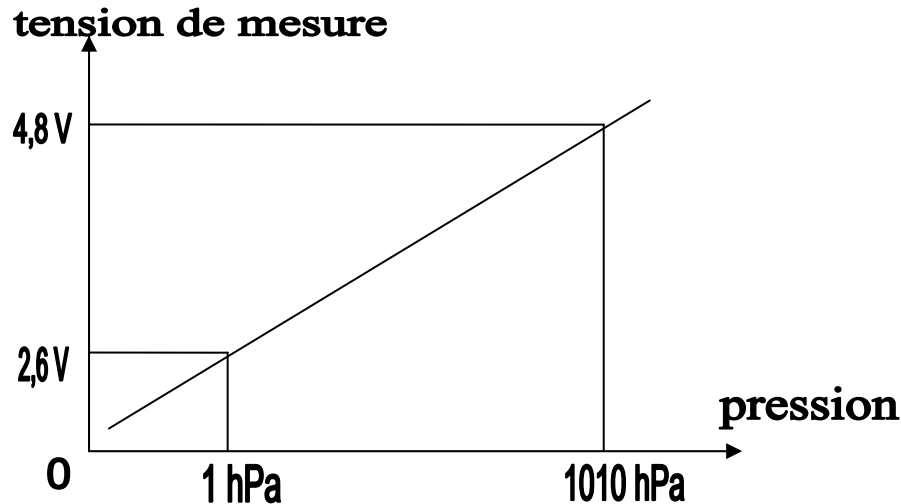
Dans une cuve sous vide qui nous permet de faire varier la pression de 1010 hPa à 1 hPa, on teste le capteur entre les deux valeurs extrêmes de pression qui sont celle au niveau du sol et celle de l'altitude maximum.



La courbe réelle (tracée en rouge) de la variation de tension n'est pas continûment linéaire. Elle est linéaire par morceaux. La seringue se déplace par à coups à cause du frottement.

Capteur électronique

Le capteur électronique est branché sur la carte et son signal est amplifié. On obtient alors l'étalonnage suivant :



Pendant le vol, il faudra comparer la pression indiquée par la seringue et celle indiquée par le capteur électronique. On pourra alors vérifier s'ils donnent la même valeur de pression ou non. Par exemple, quand le capteur électronique indique 2,6 V c'est-à-dire 1 hPa, il faut que la seringue indique 3,1 V.

Influence de la température : On a placé tous les capteurs de pression dans un congélateur à -30°C sans détecter de variations significatives (pour la pression ambiante au sol). Donc, on suppose l'influence de la température négligeable.

3.5 Capteur d'humidité

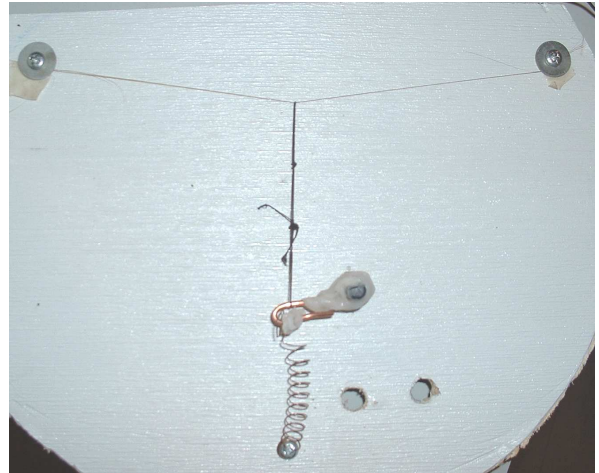
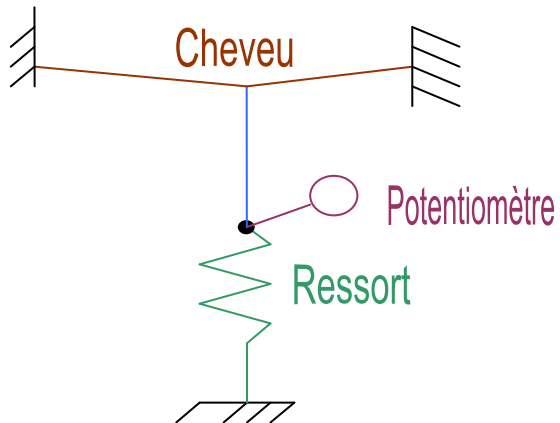
Objectif : comparer le taux d'humidité mesuré par le capteur à cheveux avec le taux d'humidité mesuré par un capteur électronique.

Principe : Le cheveu s'allonge de 2,5% quand l'humidité passe de 0 à 100%. Pour un cheveu de 20 cm nous avons alors un allongement de 5mm. Nous avons utilisé cette propriété du cheveu pour construire un capteur d'humidité.

Pour augmenter le débattement, nous avons fixé le cheveu à ses deux extrémités. C'est au milieu du cheveu que nous avons alors un débattement maximum. Pour un cheveu de 20 cm, d'après le théorème de Thalès nous avons alors un débattement de 2,25 cm.

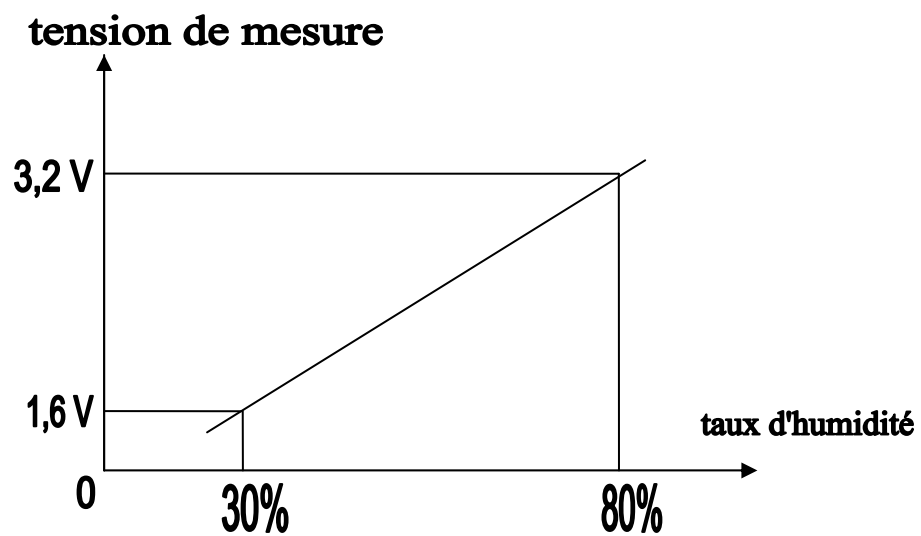
Nous avons diminué le couple à développer par le cheveu grâce à une tige rigide qui sert de bras de levier. Il y a alors une force suffisante pour faire tourner le potentiomètre (il y a en effet de légers frottements).

Nous devons également éviter les jeux et déformations au maximum. Nous avons donc tout fixé sur une plaque de contreplaqué rigide qui avait de plus l'avantage d'être légère et plastifiée. .



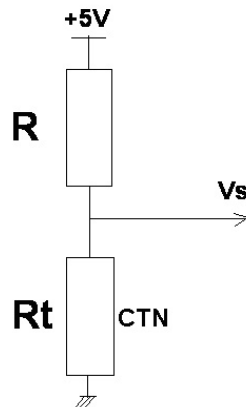
Étalonnage :

Nous avons mesuré la résistance du potentiomètre en fonction du taux d'humidité. Pour connaître les taux d'humidité nous nous sommes servi d'une mini station météo électronique du commerce. Nous avons supposé qu'elle était fiable.

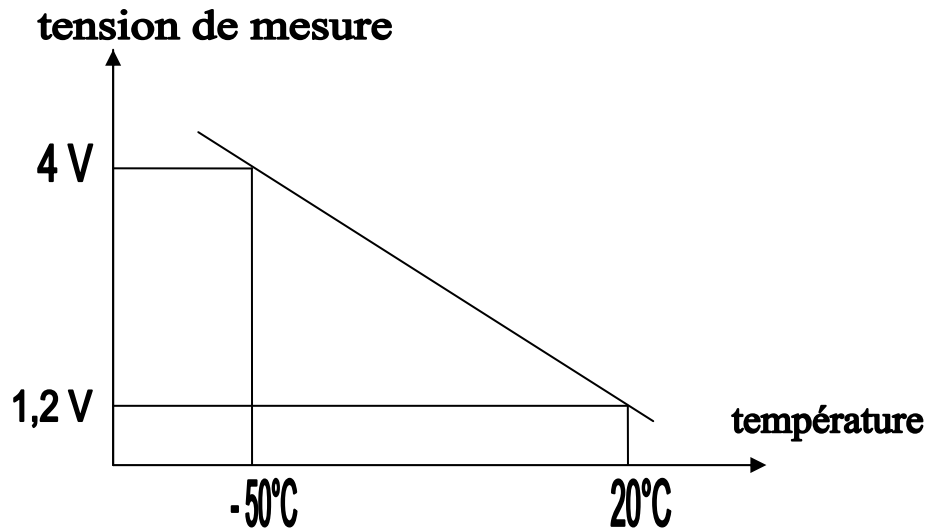


3.6 Température et luminosité

Mesure de la température grâce à un capteur CTN (coefficient de température négatif). Ce composant est une résistance qui diminue lorsque la température augmente. La mesure s'effectue grâce à un montage en pont diviseur de tension avec une résistance R connue.



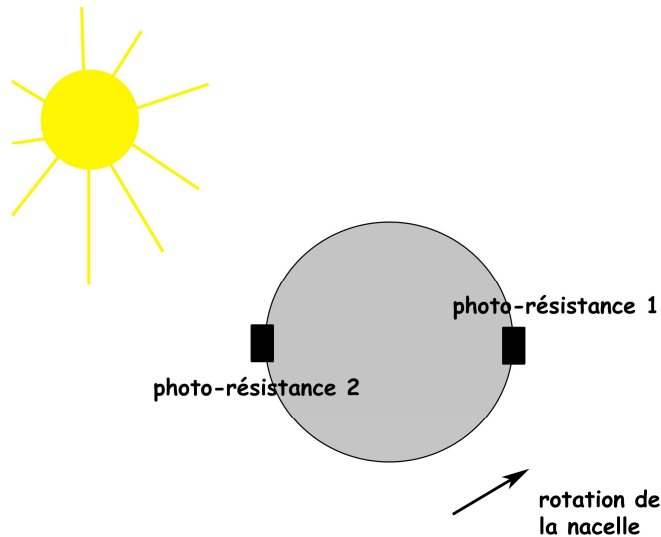
A la sortie on mesure la tension V_s :
$$V_s = \frac{R_t}{R + R_t} \times 5$$



De la même manière, on mesure la luminosité avec un pont diviseur de tension en remplaçant la thermo-résistance par une photo-résistance.

3.7 Mesure de la vitesse de rotation de la nacelle

Le circuit pour mesurer la vitesse de rotation de la nacelle est assez complexe. Le principe de base consiste à placer deux photo-résistances de chaque côté de la nacelle. Ainsi, il y aura toujours une photo-résistance plus éclairée que l'autre.



Nacelle vue de dessus

Le but est de compter le nombre de tours que fait la nacelle par rapport au soleil. En effet, l'émetteur n'envoie pas en continu les tensions des voies de mesure. Les mesures sont envoyées toutes les deux secondes. Donc, on ne peut pas savoir ce qu'il s'est passé entre deux envois. Il faut « retenir » le nombre de tours effectués même entre les envois.

Il faut donc incrémenter un compteur à chaque tour de la nacelle. Un pont de Wheatstone se prête parfaitement à cet emploi car il permet de basculer d'une tension U_e positive à une tension négative dès que la photorésistance la plus éclairée devient moins éclairée que l'autre. C'est-à-dire U_e change de signe à chaque demi-tour de la nacelle.

En plaçant un amplificateur opérationnel comparateur on aura une tension égale à $+V_{\text{saturation}}$ quand une photo-résistance sera côté soleil ($U_e < 0$) et égale à $-V_{\text{saturation}}$ lorsque l'autre résistance sera au soleil ($U_e > 0$).

Il est alors possible d'envoyer le signal sur un compteur qui s'incrémente à chaque $+V_{\text{saturation}}$.

Amplificateur opérationnel :

Tension d'alimentation de l'ampli-op : $(V_{a-}) = 0V / (V_{a+}) = +5V$

Caractéristiques de saturation : $-V_{\text{saturation}} = 0V / +V_{\text{saturation}} = +4,3V$

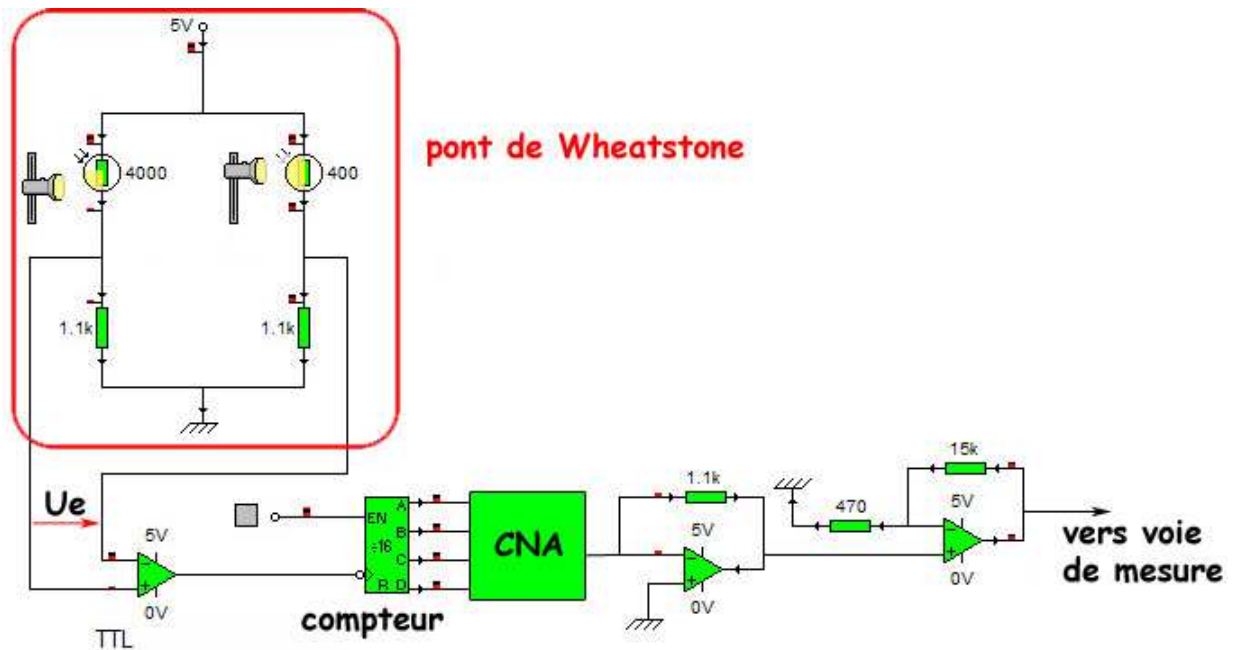


Schéma électronique du capteur de rotation de la nacelle

Le compteur possède 4 pattes de sorties qui correspondent à un nombre binaire. Ce nombre binaire est traité par un Convertisseur Numérique Analogique (CNA). La sortie du convertisseur est un courant qui varie en fonction du nombre binaire, c'est-à-dire du nombre de tours.

Il ne reste qu'à transformer cette variation de courant en une variation de tension et à l'amplifier. C'est le rôle des deux derniers amplificateurs opérationnels.

On a alors une tension qui est fonction du nombre de tours de la nacelle par rapport au soleil.

Nbe de tours	Tension de sortie	Nbe de tours	Tension de sortie
0	0 mV
1	78 mV	40	3,12 V
2	156 mV
3	234 mV	62	4,84 V
4	312 mV	63	4,92 V
...	...	64	5 V
20	1,56 V	65	0 V
21	1,64 V	66	78 mV

L'émetteur et le récepteur donnent une valeur à ± 10 mV. Le compteur et CNA achetés pouvaient compter jusqu'à 256 tours (2^8). Cependant, on aurait alors eu une variation de 19mV par tour. Ainsi, les résultats auraient été imprécis (donné à 1 tour près) alors qu'il n'y a qu'un ou deux tours de rotation par seconde (d'après le CNES).

Le réglage retenu est donc de compter jusqu'à 64 tours (ce qui donne une variation de 78mV par tour), pour détecter chaque tour de rotation. Le compteur sera remis à zéro plus rapidement mais ce n'est pas un problème puisque il y aura de nombreux relevés entre deux remises à zéro.

Les résultats du compteur :

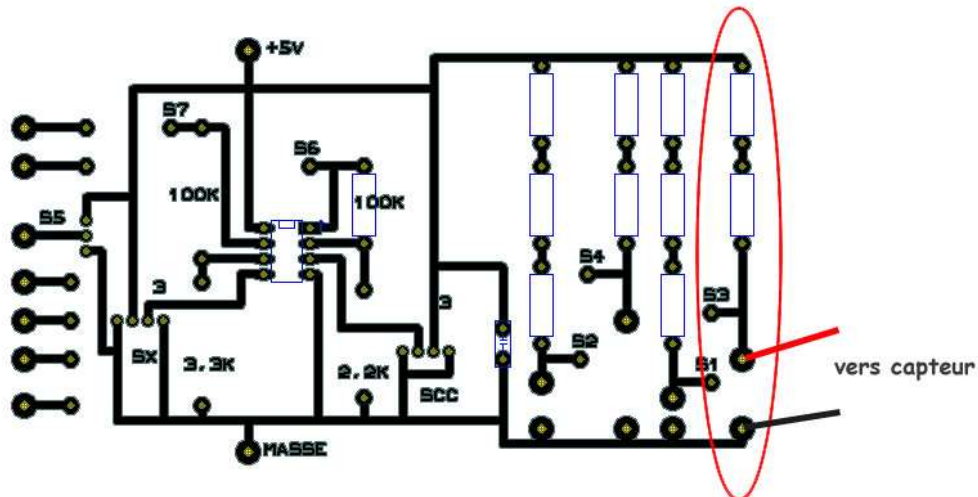
Le circuit ne fonctionnait pas au niveau du premier ampli-op. Il y a deux hypothèses : soit les variations de lumière n'étaient pas suffisamment grandes, soit l'amplificateur avait un défaut type d'offset. En effet, la tension délivrée par le premier ampli-op comparateur passait de 0 à 1 V quand la nacelle tournait. Ce n'est pas une tension suffisante pour incrémenter le compteur (il faut que la tension passe de 0 à 3 V).

La partie compteur après le premier ampli-op fonctionnait. Il fallait trouver un autre ampli-op résistant à très basse température (-50°C), et qui ait les caractéristiques souhaitées. Cependant, nous avons mis beaucoup de temps à trouver un circuit satisfaisant et nous n'avons pas eu le temps de tester d'autre ampli-op.

3.8 Les circuits électroniques

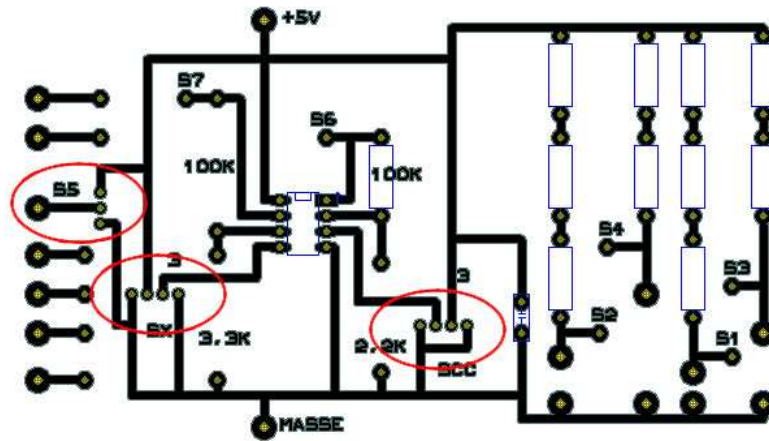
La nacelle comprend deux cartes électroniques. Il aurait été possible de faire les circuits sur une seule carte mais il est plus pratique d'avoir deux cartes pour souder les composants et placer les cartes dans la nacelle sans emmêler les câbles.

Il y a une première carte qui comprend six expériences et une deuxième carte qui comprend les deux dernières expériences.



Explication de la carte n°1 :

Il y a quatre ponts de mesure sur la droite de la carte. Les capteurs : seringue, capteur à cheveux et température sont montés en diviseurs de tension. Il y a les emplacements pour les résistances ainsi que les sorties des voies de mesure. Les gros trous servent à placer les fils vers les capteurs.



On a entouré ici les emplacements des capteurs électroniques d'humidité (en haut à gauche) et de pression (les deux en bas). Il a fallu aussi placer un circuit intégré contenant deux ampli opérationnels pour amplifier le signal des capteurs de pression.

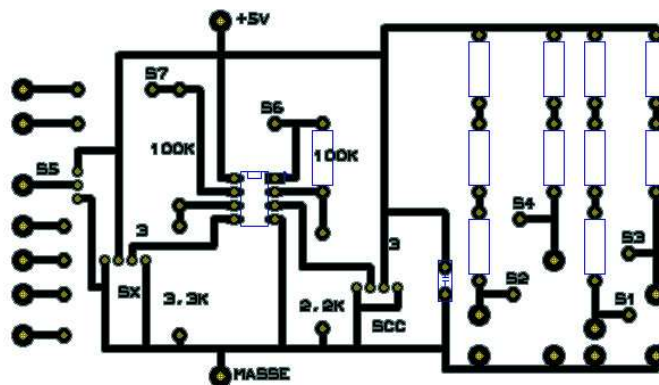
Explication de la carte n°2 :

La carte n°2 correspond au schéma électrique décrit dans le paragraphe de la rotation de la nacelle. La carte n°2 comprend aussi l'expérience de mesure de la luminosité.

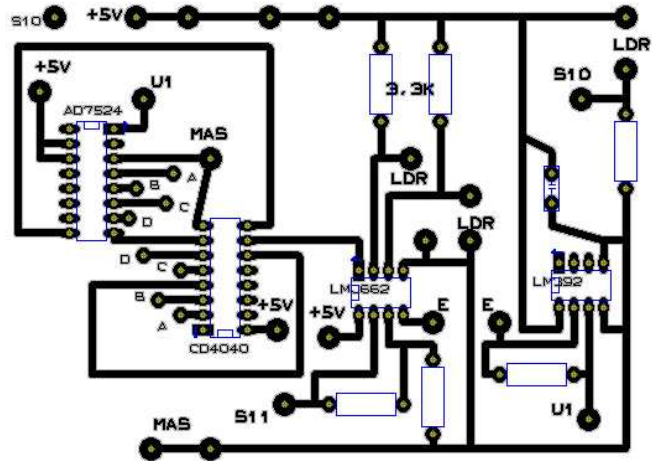
3.9 Fabrication des cartes électroniques

Une fois le schéma électronique déterminé il faut créer la carte. La première étape consiste à réaliser le typon. Le typon est un calque sur lequel sont tracées les pistes électroniques. Nous avons choisi de tracer ces pistes avec un logiciel informatique (« TCI » : Tracé de Circuit Imprimé, logiciel gratuit).

Voici les typons des cartes prêts à être imprimés :



Carte électronique n°1



Carte électronique n°2

Une fois réalisé, le typon est placé sur une plaque couverte de cuivre. Vient ensuite l'étape d'insolation aux UV. La plaque photosensible est attaquée partout sauf aux endroits où le typon protège le cuivre. Lors de la révélation chimique (appelée gravure), l'épaisseur de cuivre est éliminée sauf aux endroits non insolés. On obtient donc une plaque couverte de pistes électroniques en cuivre.

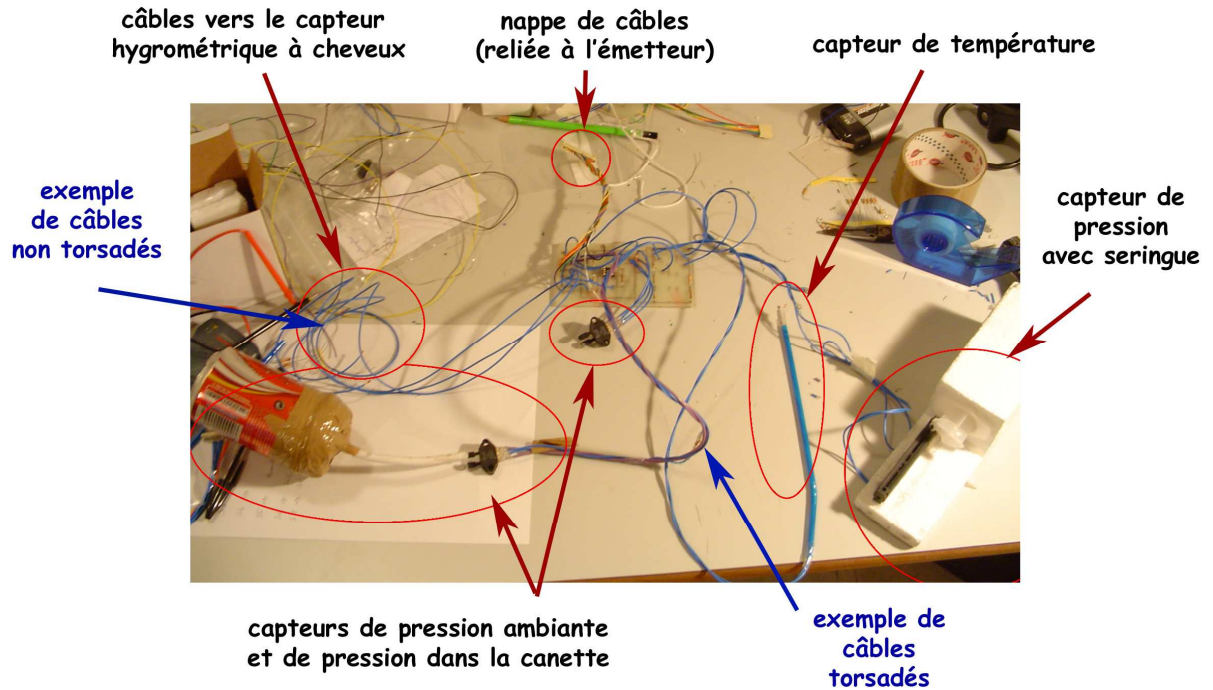
On peut enfin percer les trous pour les pattes des composants.

3.10 Soudage et câblage

Le soudage des composants a été fait sans problème. Une nappe de câbles relie chaque carte aux voies de mesure de l'émetteur.

Nous avons aussi placé des condensateurs en parallèle des capteurs et en parallèle des piles pour filtrer les perturbations et bruits de mesure.

De la même manière, nous avons torsadé tous les câbles longs pour éviter les perturbations électromagnétiques des câbles entre eux.



Les piles sont trois piles de 4,5V montées en série pour fournir une tension continue de 13,5V. Ces piles alimentent l'émetteur. L'émetteur sert de générateur +5V pour nos cartes électroniques. C'est-à-dire qu'il fournit une tension de +5V tant qu'on lui fournit une alimentation comprise entre 10V et 15V. Ainsi, même si les piles se déchargent, on est certain d'alimenter les capteurs avec la même tension.

Nous avons aussi ajouté un interrupteur sur la nacelle, relié aux piles. Cet interrupteur a permis de couper l'alimentation de l'émetteur et des circuits entre le moment où la nacelle était prête au vol (avec les capteurs branchés) et le moment exact du lâcher. De cette façon, les piles ne se sont pas déchargées.

3.11 Site internet

Un site web a été créé pour permettre d'avoir un compte-rendu simplifié consultable par les autres centres ENSAM.

<http://www.ifrance.com/pitballon2004>

4. Bilan du PIT

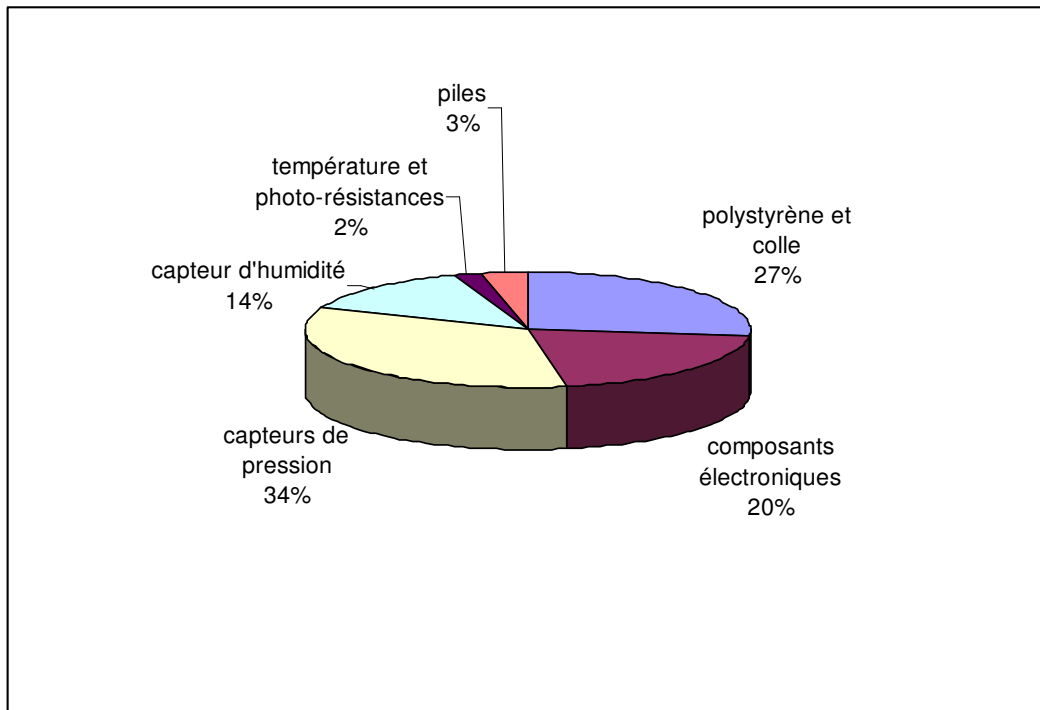
4.1 Les délais réels et prévisionnels

Planning prévisionnel		Planning réel	
22 septembre	idées d'expériences	22 septembre	idées d'expériences
6 octobre	choix des expériences et recherches		
20 octobre	débuter les schémas électriques et joindre le suiveur	20 octobre	expériences choisies
10 novembre	1 ^{er} rencontre suiveur et finir les schémas électriques	10 novembre	1 ^{er} rencontre suiveur
24 novembre	construction nacelle et fabrication capteurs	24 novembre	commande des composants
8 décembre	étalonnage, tests et mise en place	8 décembre	schémas électroniques réalisés
5 janvier	assemblage et tests finaux et 2 ^{ème} visite suiveur	5 janvier	changement d'une expérience
février	lâcher du ballon	12 janvier	2 ^{ème} visite suiveur
		février	construction
		18 mars	3 ^{ème} visite suiveur étalonnages effectués
		1 ^{er} avril	lâcher du ballon

4.2 Les coûts

Nous avons eu un budget de 150€

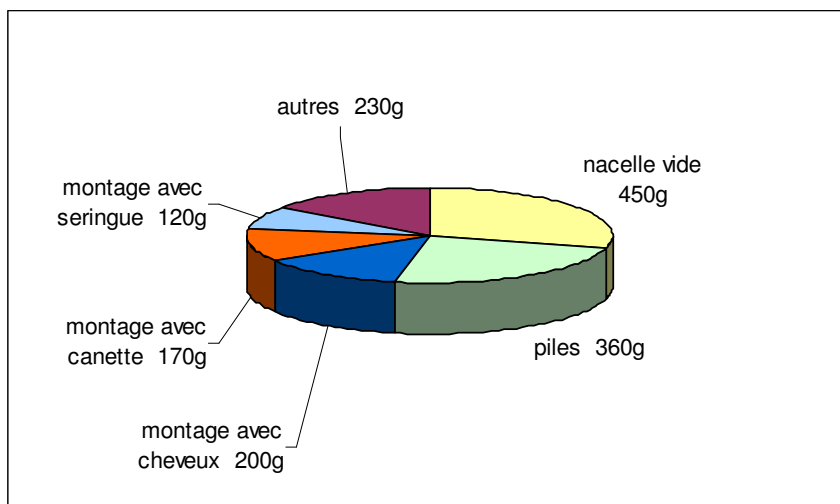
Eléments	Coûts
Polystyrène et colle	40 €
Composants électroniques divers (ampli-op, fils...)	30 €
Capteurs de pression	50 €
Capteur d'humidité	20 €
Thermo- résistance et photo-résistances	3 €
Piles	5 €
Total	148 €



Répartition des coûts

4.3 Le poids de la nacelle

La nacelle pèse au total 1,53 kg. Le cahier des charges permettait jusqu'à 2,5kg. Mais de cette manière, notre nacelle n'est pas du tout dangereuse lors de la descente. Elle descendra moins vite et son poids faible ne peut rien détruire.



4.4 Le jour du lâcher

Le suiveur de Planète Sciences, M. Laroche est arrivé le matin à 10h pour vérifier et qualifier la nacelle avant le lâcher et amener tous les éléments fournis par le CNES.

Une fois l'émetteur du CNES testé, on a vérifié le fonctionnement des capteurs de notre nacelle. Seule l'expérience de rotation semblait défailante. On a ensuite préparé le parachute et fixé le réflecteur radar, le parachute et la nacelle entre eux.

En début d'après-midi, vers 13h, on installe toute la chaîne de vol. Après quelques problèmes de l'émetteur, on réinstalle le logiciel sur l'ordinateur et tout fonctionne.

Le ballon est gonflé vers 14h. Mais le lâcher se déroule mal. La nacelle heurte violemment le mur lors du décollage. Le ballon s'éloigne et on ne reçoit aucun signal de sa part...

Il semblerait qu'un câble de la pile se soit cassé au moment du choc et ait ainsi coupé l'alimentation de l'émetteur et des capteurs.

Causes du choc lors du décollage :

- le vent était trop fort et trop irrégulier au moment du lâcher, le ballon a été pris par un coup de vent qui l'a entraîné vers le mur et non vers le haut.
- nous n'étions pas placé dans un endroit suffisamment dégagé. M. Laroche a expliqué qu'il aurait dû nous faire lâcher le ballon depuis un endroit plus espacé et avec moins de turbulences tout en plaçant notre récepteur sur la terrasse.

Cependant, si le vent avait été faible, il n'y aurait eu aucun problème.

Conclusion

Le PIT apporte une expérience de réalisation d'un projet entier. Nous n'avons jamais fait ce type d'exercice auparavant. Il est difficile de travailler en équipe, sans être guidé par les professeurs. Mais en s'organisant de plus en plus tout au long de l'année, nous arrivons finalement à réaliser le projet. Nous avons pu construire la nacelle et les expériences que nous avions choisies au départ.

Nous sommes néanmoins déçus de l'échec du lâcher du ballon. En effet, nous n'avons pas nos propres résultats des mesures de l'atmosphère.

Remerciements :

Nous remercions tous ceux qui nous ont permis de réaliser le PIT :

M. Laurent BARRALLIER

M. Pierre GRAS, M. Jean-Pierre NISTERON et M. Amar MOGHRANI

M. Christian DELAVET et M. Roger NOUGIER

Et nous remercions tout particulièrement M. Vincent LAROCHE qui nous a guidé et motivé pendant tout le projet.

ANNEXES

- exemple n°1 de data sheets (données des capteurs), exemple du capteur d'humidité
- exemple n°2 de data sheets, extraits des données d'un amplificateur opérationnel
- typons des cartes électroniques
- étiquette apposée sur la nacelle